

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh frézovacích nástrojů pro vysoké posuvy

Draft Milling Tools for High Feed

Student:

Vedoucí bakalářské práce

Lubomír Zajíc

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Lubomír Zajíc**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh frézovacích nástrojů pro vysoké posuvy**
Draft Milling Tools for High Feed

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Vysokoposuvové frézování.
3. Návrh vhodných nástrojů.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] PRAMET. *Frézování: katalog 2010*. PRAMET TOOLS, s. r. o., 2010. 296 s.
- [4] BUDA, J.; SOUČEK, J.; VASILKO, K. *Teória obrábania*. Bratislava : ALFA, 1988.
- [5] ERDL, BERT P. *High-speed machinig*. Deaborn, Michigan : Society of Manufacturing Engineering, 2003. ISBN 0-87263-649-6.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2014



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19. 5. 2014



podpis

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bohdíkov 70, 78964

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zajíc, L. *Návrh frézovacích nástrojů pro vysoké posuvy. Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 42 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá problematikou rovinného obrábění vysokými posuvy a jejich nástroji. V úvodu se seznámíme s charakteristickými vlastnostmi této metody, výhodami a nevýhodami této metody obrábění. Další část práce se věnuje popisu a charakteristice vybraných nástrojů a VBD pro experiment. Hlavní část této práce se zabývá praktickými zkouškami obrábění na zkušebně obrábění firmy Pramet Tools na vybrané korozivzdorné oceli DIN 1.4404. V závěru Bakalářské práce jsou shrnuty všechny poznatky a výsledky získané z praktických zkoušek obrábění metodou HFC s návrhem dalšího postupu prací.

Klíčová slova: vysoké posuvy, HFC, korozivzdorná ocel, nerez, rovinné frézování, Pramet

ANNOTATION TO BACHELOR THESIS

Zajíc, L. *Draft Milling Tools for High Feed. Bachelor work.* Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2014, 42 p. Thesis head: Vrba, V.

The Bachelor thesis deal with questions of face milling of high feed cutting and their tools. On the introduction we acquaint with characteristics properties of these methode, advantage and disadvantage this machining methode. Next chapter describes about main characteristics of tools and indexable inserts for experiment. The main part focuses on practical tests on testroom Pramet Tools company on chosen of stainless steel DIN 1.4404. At the end of Bachelor thesis are summarized all knowledges and results from practical tests with HFC methode with proposals for next steps.

Keywords: high feed, HFC, stainless steel, rustless, face milling, Pramet

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Vladímíru Vrbovi, Csc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Binderovi ze společnosti Pramet Tools, s.r.o. za odborné rady a vstřícný přístup.

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
Úvod	10
1 Obecná charakteristika daného problému	11
1.1 Základní pojmy v obrábění	12
1.1.1 Rozdělení metod obrábění	14
1.2 Úvod do frézování	15
1.2.1 Rozdělení frézování	15
1.2.2 Nesousledné frézování	17
1.2.3 Sousledné frézování	18
2 Frézování vysokými posuvy	18
2.1 Charakteristika	18
2.2 Břitové destičky HFC	20
2.2.1 Výhody VBD pro HFC	21
2.3 Axiální frézování	21
3 Volba vhodných nástrojů	22
3.1 Korozivzdorné oceli	22
3.1.1 Korozivzdorná ocel 17 349 (DIN 1.4404; X2CrNiMo17-12-2)	23
3.2 LMT Fette	24
3.3 Ingersoll	26
4 Diskuze experimentu	28
4.1 Funkční zkoušky obrábění	28
4.1.1 Měření zaoblení řezných hran	28
4.1.2 Měření velikosti fazetek	29
4.1.3 Volba řezných podmínek	30
4.1.4 Utváření třísky v místě řezu	30
4.1.5 Zatížení vřetene	32

4.1.6	Měření drsnosti povrchu	32
4.2	Měření tvrdosti obrobků.....	33
4.3	Zkoušky obrábění na trvanlivost.....	33
4.3.1	Volba řezných podmínek pro trvanlivostní zkoušky	34
5	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	34
5.1	Zatížení vřetene	34
5.2	Měření drsnosti	35
5.3	Zkoušky obrábění na trvanlivost.....	35
6	Závěr.....	38
7	Seznam použité literatury	40
8	Seznam obrázků	41
9	Seznam tabulek.....	42
10	Seznam grafů.....	42
11	Seznam příloh.....	42

Seznam použitých zkratk

HFC – frézování vysokými posuvy

VBD – vyměnitelná břitová destička

HRC – tvrdost dle Rockwella [-]

R_m – pevnost v tahu [MPa]

R_p – mez kluzu [MPa]

a_p – hloubka řezu [mm]

α_r - hlavní úhel břitu nástroje [°]

a_e – šířka záběru [mm]

v_c – řezná rychlost [m · min⁻¹]

n – otáčky nástroje [min⁻¹]

f_z – posuv na zub [mm · zub⁻¹]

f – posuv [mm · min⁻¹]

T – trvanlivost [min]

K – řezivost [%]

Úvod

V současné době je kladen neustálý tlak na snižování výrobních nákladů a tudíž i cen výrobků. Aby však uvedeného bylo dosaženo, je třeba rovněž klást vyšší požadavky na kvalitu řezného procesu a využití nejnovějších trendů využívaných při třískovém obrábění.

Frézování s vysokými posuvy (HFC - Hight Feed Cutting) je obráběcí metoda, ve které jsou kladeny nároky především na všeobecné zvýšení produktivity a na snížení strojních časů. To je důvodem vývoje nových nástrojů i nástrojových materiálů umožňujících dosažení co nejvyšší možné produktivity práce.

Toto téma mi bylo k vypracování nabídnuto společností Pramet Tools s.r.o., (dále jen Pramet Šumperk) která se zabývá zejména výrobou nástrojů právě pro obrábění. Tato společnost si je vědoma nutnosti vývoje nové VBD určené pro frézování s vysokými posuvy, což bylo hlavním impulsem pro zadání této práce, jejímž hlavním cílem je získání poznatků o VBD pro HFC.

1 Obecná charakteristika daného problému

Jak již bylo uvedeno výše, téma této práce mi bylo nabídnuto společností Pramet Šumperk. Ta se zabývá jak výrobou, tak také prodejem obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu. Zákazníkům nabízí všechny druhy nejnovějších nástrojů ze slinutého karbidu, ale dále také moderní materiály a povlaky.



Obr. 1.1 Pramet Tools s.r.o [1]

Šumperská firma Pramet Šumperk si je vědoma nutnosti výroby nových nástrojů pro HFC a tudíž vyvíjí aktivitu vedoucí k výrobě nových nástrojů pro frézování korozivzdorných ocelí.

Cesta vedoucí k uspokojení současných požadavků poptávky je snížení nákladů spojených s nástroji třískového obrábění. Světová konkurence nabízí celou škálu HFC nástrojů pro frézování korozivzdorných ocelí. Tyto nástroje jsou odlišně konstrukčně řešeny, ovšem princip fungování je nakonec u všech nástrojů stejný. Jejich jasným záměrem je při výrobě VBD snižovat nároky na jednu řeznou hranu. Proto vyrábí VBD oboustranné s co nejvíce řeznými hranami, čímž se snižují nároky na jednu řeznou hranu a tím se logicky snižuje také cena celé VBD. Firma Pramet se chce přiblížit ke konkurenčním firmám a také vyrábět co nejvýhodnější VBD. Pro příklad jsou zde uvedeny některé konkurenční firmy na světovém trhu:

- Ingersoll

- LMT fette
- Mitsuhbishi
- Sandvik
- Kennametal

V současné době firma Pramet nabízí pouze jednostranné VBD pro HFC se čtyřmi řeznými hranami, které ještě nejsou určeny k frézování korozivzdorných ocelí. Firma se rozhodla nakoupit vybrané nástroje od konkurenčních firem. Konkurenční firem fungujících na trhu je celá řada, a proto se musel brát ohled na rozhodující informace z katalogu a k výběru přispěli také zkušenosti pracovníci firmy Pramet Šumperk.

Nejdůležitějšími aspekty pro volbu vhodných nástrojů u HFC jsou funkční a trvanlivostní zkoušky. U funkčních zkoušek se budeme zabývat sledováním utváření třísky v místě řezu a zatížením vřetene. Těmto zkouškám předchází proměření fazetek a zaoblení řezných hran. U korozivzdorné oceli budeme měřit rovněž tvrdost. Trvanlivostní zkoušky jsou zaměřeny na trvanlivost a řezivost jednotlivých VBD. Z daných zkoušek budou učiněny závěry, ze kterých bude zjistitelné, zda se výroba uvedených nástrojů vůbec vyplatí. V případě, že budou mít vybrané nástroje dobré výsledky, začne se firma Pramet Šumperk zabývat návrhem a výrobou VBD s podobnou konstrukcí. Tato výroba se ale uskuteční až v následujících letech, protože při návrhu vhodných nástrojů pro VBD jsou rozhodující až desítky dalších testování.

1.1 Základní pojmy v obrábění

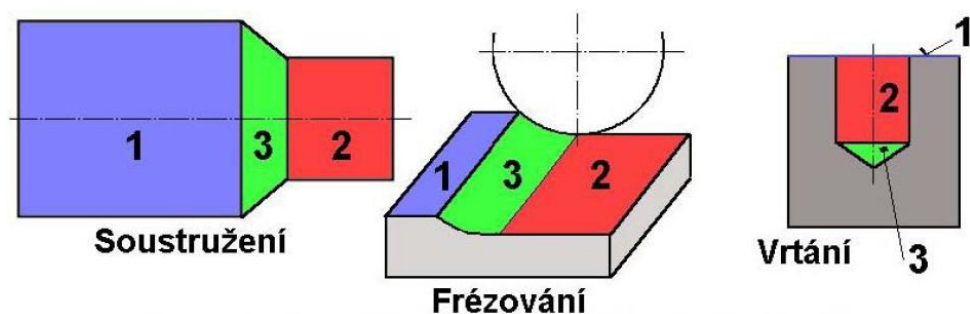
Obrábění je technologický proces, kterým se vytváří povrchy určitého tvaru obrobku, rozměrů a také jakosti. Částice materiálu jsou odebrány pomocí účinku mechanických, elektrických, chemických, případně jejich kombinacemi. Obrábění je uskutečňováno v obráběcí soustavě (SNOP). Každé písmeno v této zkratce má určitý význam: [2]

- obráběcí stroj (S),

- řezný nástroj (N),
- obrobek (O),
- přípravek (P). [2]

Řezání je způsob obrábění, při kterém dochází k odebírání částic materiálu ve tvaru třísky a to za pomoci břitu řezného nástroje. [2]

Obrobek je to obráběná nebo již obrobená součást či dílec. Z geometrického hlediska je obrobek charakterizován rozměry a tvary jednotlivých ploch, které se nazývají obráběná (1), obrobená (2) a přechodová (3). [2]



Obr. 1.2 Znázornění jednotlivých ploch [2]

Přídavek je určitá vrstva materiálu, která se nachází mezi obráběnou a obrobenou plochou. Obráběním se tato vrstva odstraní. [2]

Odebíraná vrstva je určitá část přídavku, která je odřezávaná břitem nástroje a to ve formě třísky. [2]

Tříska je určitá zdeformovaná vrstva materiálu, která je pomocí nástroje odříznutá. [2]

1.1.1 Rozdělení metod obrábění

Obráběcí metody lze dělit podle různých hledisek. Klasifikace metod obrábění využívá různé charakteristiky, jako je vzájemný kontakt nástroje s obrobkem, kombinace variant pohybů stroje, nástroje a obrobku. [2,3]

Podle charakteru vykonávané práce rozdělujeme obrábění na:

- ruční,
- strojní,

Ruční obrábění je práce, kterou vykonává člověk za pomoci ručních nástrojů. Patří sem sekání, pilování, zaškrabávání apod. Řadíme zde také práce, které jsou vykonávány pomocí ručně ovládaných strojů, jako jsou ruční elektrické brusky, vrtačky, rozbrušovačky a mnoho dalších. Základ ručního obrábění je využívání zručnosti a fyzické síly pracovníka. Produktivita ručního obrábění má v současné době technicky nízkou úroveň. Ruční obrábění nachází uplatnění především v opravárenství a údržbě. V případě strojního obrábění je potřebná energie. Energie je přiváděna k obráběcímu stroji obvykle ve formě elektrické energie, kde se transformuje v energii mechanickou, která je následně využívána pro realizaci obráběcího procesu. [2,3]

Dělení obrábění podle charakteristických znaků břitové geometrie nástroje:

- obrábění s definovanou geometrií břitu (soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování aj.),
- obrábění s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování aj.).
- nekonvenční metody obrábění (např. elektroerozivní, chemické, ultrazvukem, laserem, soustředěným paprskem),
- úpravy obrobených ploch (válečkování, leštění, hlazení, brokování). [2]

Podle charakteru záběru řezání:

- plynulé řezání, při kterém je řezný klín po celou dobu řezání stále v záběru,

- přerušované řezání, při němž řezný klín střídavě vchází do záběru a vychází ze záběru. Typickým příkladem takového řezání je frézování. [3]

Podle směru přemísťování částic materiálu vzhledem k řezné hraně se dělí na:

- volné obrábění, při kterém je směr přemísťování částic třísky ve všech bodech řezné hrany stejný,
- vázané obrábění, při kterém se částice třísky pohybují různými směry, v zásadě však kolmo na řeznou hranu. [2]

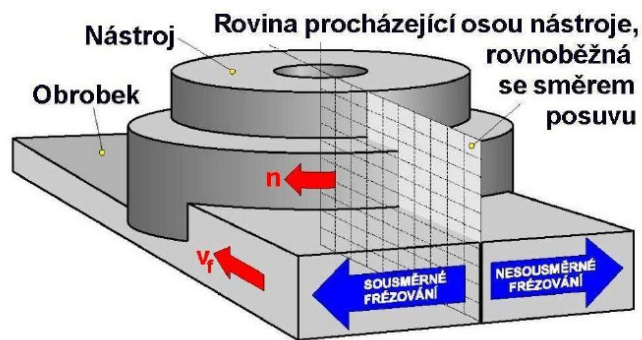
1.2 Úvod do frézování

Frézování je obrábění vícebřitým nástrojem (frézou), kdy hlavní rotační pohyb koná nástroj a vedlejší přímočarý pohyb koná obrobek. Frézování se používá pro všechny druhy operací, mezi ty patří obrábění rovinných, tvarových ale i rotačních ploch. Frézovat také můžeme i různé drážky, závity i ozubení. Frézovací řezný proces je přerušovaný, to je způsobeno tím, že jednotlivé zuby umístěné a odstupňované na frézce odřezávají krátké třísky různých tloušťek. [2,3]

Z technologického hlediska rozdělujeme frézování podle polohy osy nástroje vzhledem k obráběné ploše na čtyři základní typy. Dva hlavní a dva odvozené. [2]

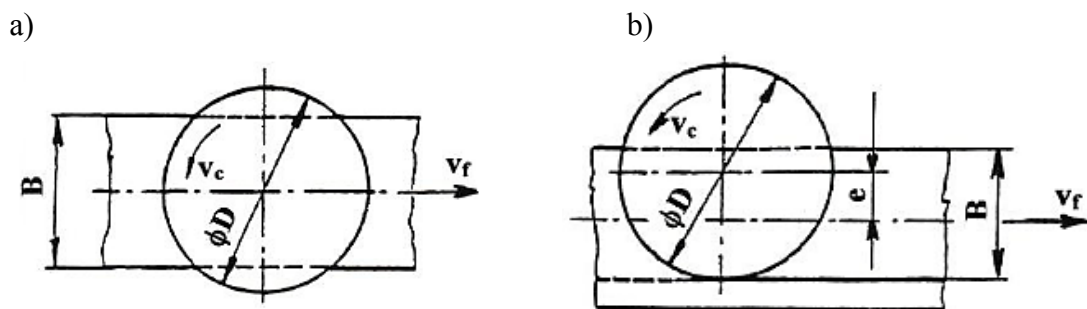
1.2.1 Rozdělení frézování

- Válcové – zuby jsou umístěny na obvodu nástroje a osa je rovnoběžná s obráběnou plochou. [2,3]
- Čelní - zuby jsou umístěny na obvodu i čele nástroje. Při vniknutí břitu do materiálu je obrobek vystaven rázům. Zuby jsou vystaveny teplotním rázům. Jedná se o nejrozšířenější způsob frézování. [2,3]



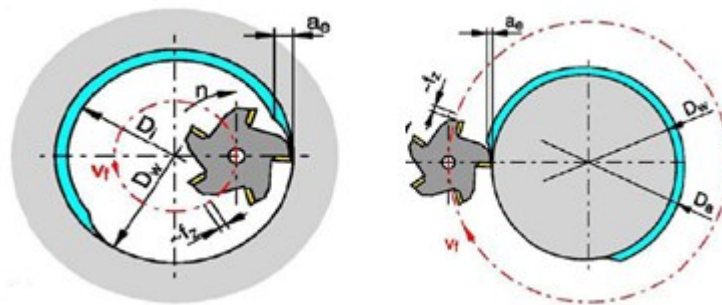
Obr. 1.3 Čelní frézování [2]

Čelní fréza pracuje při frézování sousledně i nesousledně. Podle polohy osy frézy vzhledem k frézované ploše je frézování rozlišeno na dva způsoby, a to frézování symetrické a asymetrické. [2]



Obr. 1.4 Čelní frézování a) symetrické b) nesymetrické[2]

- Okružní frézování – frézuje obvodem rotačního nástroje obrobku, který je rovněž rotačního tvaru. Osy nástroje i obrobku jsou obvykle vzájemně skloněné a hloubka řezu se nastavuje ve směru kolmém na osu obrobku. Okružním frézováním lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy. [2]
- Planetové – tento způsob frézování je určen pro obrábění vnějších a vnitřních válcových ploch. [2]



Obr. 1.5 Planetové frézování [2]

Při válcovém frézování se využívají válcové a tvarové frézy. Zuby jsou pouze po obvodu nástroje, hloubka řezu se nastavuje v rovině kolmé na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení nástroje. Při válcovém frézování musí být šířka frézy větší než šířka frézované plochy. V závislosti na smyslu otáčení nástroje rozlišujeme dva druhy válcového frézování. Jedná se o frézování sousledné a frézování nesousledné. [2,3]

1.2.2 Nesousledné frézování

Při daném způsobu se nástroj pohybuje proti směru posuvu obrobku. To znamená, že odebírá třísku od minima do maxima. Obrobek musí být dobře upevněn, protože síly, které vznikají, se snaží vyhodit obrobek z upnutí. Silové účinky a deformace, které při nesousledném frézování vznikají, způsobují zvýšené opotřebení břitů. [2,3]

Výhody:

- záběr zubu nezáleží na hloubce řezu,
- vzniká menší opotřebení stroje,
- menší rázy. [2]

Nevýhody:

- zhoršená jakost obrobené plochy,
- směr síly frézování s ohledem na upnutí. [2]

1.2.3 Sousedné frézování

Při daném způsobu je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Odebíraná tříska se mění z maximální do minimální tloušťky. K tomu, aby mohlo být nesousměrné frézování uskutečněno, musí být frézka přizpůsobena tak, že se vymezí vůle a předpětí mezi posunovým šroubem a maticí stolu. Pokud není tato podmínka splněna, může dojít k poškození nástroje a dokonce i stroje. Frézka zachycuje všechny rázy, které doprovází tento jev. [2,3]

Výhody:

- vyšší trvanlivost nástrojů,
- použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- nižší řezný výkon,
- jednodušší upínání (síla řezání přitlačuje obrobek ke stolu),
- menší sklon ke kmitání,
- obrobená plocha dosahuje vyšší jakost. [2,3]

Nevýhody:

- vznikají rázy, které musíme zamezit vůlí ve vodících plochách a posuvných mechanismech. Dochází tak k zmírnění chvění, které by mohlo zhoršit kvalitu obrobené plochy, popřípadě zničit nástroj.
- Nevhodné při obrábění polotovarů s tvrdým a znečištěným povrchem. [2,3]

2 Frézování vysokými posuvy

2.1 Charakteristika

Frézování vysokými posuvy je produktivní metoda frézování, která umožňuje až 3x rychlejší obrábění než u obrábění klasického. Frézování vysokými posuvy je kombinace malé hloubky řezu s vysokým posuvem na zub. Obrábění s malou hloubkou řezu (do cca $a_p = 2,5 \text{ mm}$) a vysokým posuvem na zub můžeme odstranit více než 1400 cm^3

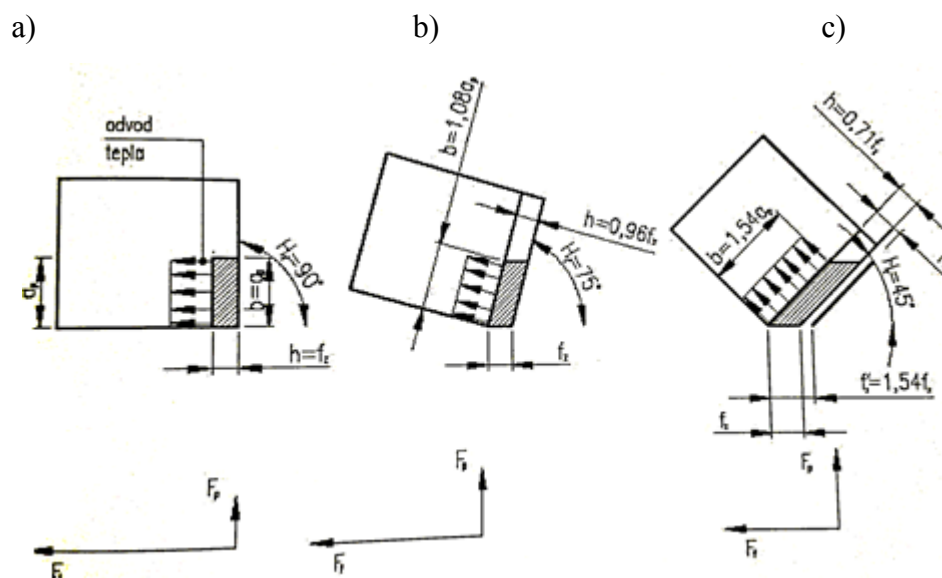
materiálu Q za minutu. Někdy můžeme zvýšit rychlost posuvu až na deseti násobek, to především zkrátí obráběcí dobu každé součásti. I když je tato operace spíše hrubovací prostředek tak je možné dosáhnout i finálně obrobené plochy a to nám umožní přeskočit hrubovací proces a nabízí nám rovnou finální proces. [8]

U stávající vyměnitelných břitových destiček je zvýšení posuvu f_z omezená. Většinou je nutné respektovat tepelnou stabilitu materiálu břitové destičky i jeho odolnost vůči teplotnímu i mechanickému zatížení. Při rostoucím posuvu f_z roste také tepelné zatížení, proto je pro zachování určité trvanlivosti břitu nutné snížit rychlost v_c . Tato situace výkon frézování snižuje. Proto je u běžných břitových destiček možnost zvýšení posuvu na zub malá. [5,8]

K dosažení většího posuvu je nutno brát v úvahu experimenty, které se vykazují tím, že skoro veškerá vynaložená mechanická energie se přemění v teplo. K této přeměně dochází v důsledku především plastické deformace odřezávané vrstvy materiálu obrobku v oblasti primární, sekundární a terciální. Teplo které vzniká je nutno odvádět od do tělesa břitové destička, tělesa nástroje a do okolního prostředí. Tento proces nám zajistí, aby byla zachována určitá úroveň přijatelné teploty destičky, a tím zajištěna i určitá intenzita opotřebení, která vede k požadované životnosti. [5,8]

Ke zvýšení možnosti odvádět teplo se dostáhne především zvýšením aktivní délky břitu, to tím, že prodloužíme délku zabírajícího ostří výměnné břitové destičky. Obrázek (1.5) znázorňuje tři případy, kdy je hloubka řezu a_p odebírána frézami s vyměnitelnými destičkami pod třemi různými úhly nastavení $H_r=90, 75$ a 45 . Z obrázku je zřejmé jak se vlivem snížení úhlu mění aktivní délka břitu. Při úhlu nastavení $H_r 90$ je aktivní délka břitu shodná s axiální hloubkou a_p a proto je hloubka třísky totožná s posuvem f_z . [8]

Při nastavení břitu $H_r = 75$ se aktivní délka břitu se zvětší v porovnání s úhlem 90 o 8% a současně se zmenší tloušťka třísky o 4% . Při úhlu nastavení $H_r = 45$ má délku aktivní části břitu a_b o 54% větší a tloušťka odřezávané vrstvy se zmenší o 29% (obr. 2.1 c.)



Obr. 2.1 Naklonění břitových destiček (a, b, c) [8]

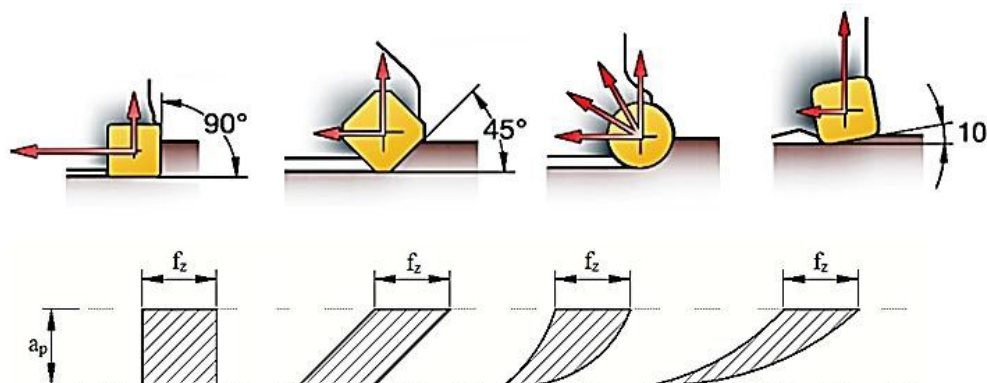
V obrázku je také naznačeno odvozené teplo u všech tří případů. Odvod tepla se při zmenšování úhlu nastavení se aktivní část zvětšuje na delší aktivní část břitu. Z větší aktivní části břitu dává možnost použít větší posuvy F_r a tím se zmenšuje i opotřebení funkčních ploch břitu. [8]

Pro zvětšení aktivní části délky břitu se používají destičky kruhové. Destičky mají výhodu v tom, že u nich nedochází ke koncentraci tepla na špičce a obecně mají vyšší odolnost proti cyklickému zatížení břitu a to je u frézování důležité. U kruhových destiček dochází ke zmiňovanému obloukovému břitu ostří, tím dochází ke zvětšení aktivní délky břitu, a proto lépe odvádí teplo. Aplikace kruhových destiček je důležitý fakt pro frézování s vysokými posuvy f_z . Vzhledem k větší aktivní délce kruhového břitu se při určitém průřezu třísky $A = f_z \cdot a_p$ rozloží zatížení na větší délku břitu. [8]

2.2 Břitové destičky HFC

Pro zvětšení aktivní části délky břitu se používají destičky kruhové, které mají malý nastavení hlavního ostří, díky tomu mohou pracovat při vysokých rychlostech a to bez nebezpečí přetížení. Destičky mají výhodu v tom, že u nich nedochází ke koncentraci tepla na špičce a obecně mají vyšší odolnost proti cyklickému zatížení břitu a to je u frézování důležité. U kruhových destiček dochází ke zmiňovanému obloukovému břitu ostří, tím dochází ke zvětšení aktivní délky břitu, což je znázorněno na obrázku 2.2, a proto tyto destičky lépe odvádí teplo. Aplikace kruhových destiček je důležitý fakt pro

frézování s vysokými posuvy. Vzhledem k větší aktivní délce kruhového břitů se při určitém průřezu třísky $A = f_z \cdot a_p$ rozloží zatížení na větší délku břitů. [5,8]



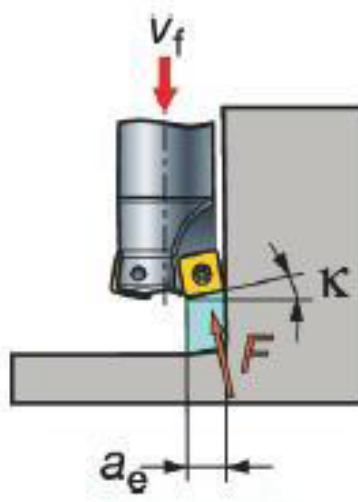
Obr. 2.2 Schéma geometrie VBD pro vysoké posuvy [7]

2.2.1 Výhody VBD pro HFC

Mezi hlavní výhodou VBD pro HFC frézování je malý úhel nastavení hlavního ostří. Proto působí minimální radiální a maximální axiální řezné síly. Výsledkem zmenšení radiální složky silového zatížení je snížení rizika vibrací a tím zvýšení stability obrábění. Důsledkem tohoto snížení radiální síly je umožněna konstrukce fréz s velkým vyložení, až $7 \times D$. Tyto nástroje pro HFC jsou vhodné pro frézování s axiálním přísuvem. Axiální frézování se používá pro výrobu forem. [7].

2.3 Axiální frézování

Při axiálním frézování (obr. 2.3) probíhá řez na čele nástroje. Tento fakt udává změnu charakteru řezných sil z převážně radiálních a na axiální a tím i menší riziko vzniku vibrací. Tento způsob frézování lze přirovnat k vyvrtávací operaci s přerušovaným řezem. Nároky na stroj i hlučnost procesu jsou nízké [7].



Obr. 2.3 Axiální frézování[7]

Obecně je pro tento druh frézování doporučeno

- používá se pro vřetena s horizontální orientací,
- ☐ použití chladicí emulze vede k lepšímu odvedení třísek,
- ☐ kvůli zamezení vibracím používat menší hloubku řezu. [7]

3 Volba vhodných nástrojů

Konkurenční nástroje byly vybrány z hlediska užitných vlastností. Především s ohledem na počet řezných hran na jedné VBD, který je rozhodující z hlediska ekonomického řešení nástrojů pro oblast HFC frézování. V současném sortimentu fréz firmy Pramet Šumperk, lze najít nástroje s VBD s nižším počtem řezných hran než nabízí konkurence. Cílem experimentálních zkoušek obrábění (viz následující kapitoly) bylo provést porovnání ekonomických řešení konkurenčních nástrojů na korozivzdorné oceli 17 349 (DIN 1.4404, X2CrNiMo17-12-2).

3.1 Korozivzdorné oceli

Všechny praktické zkoušky budou prováděny na korozivzdorné oceli 17 349 (DIN 1.4404; X2CrNiMo17-12-2)

Ušlechtilá korozivzdorná ocel je všeobecný výraz pro korozivzdorné oceli. Korozivzdorné oceli mají minimálně 10,5 % chromu. Tyto oceli vykazují v porovnání s nelegovanými oceli mnohem lepší korozní odolnost, což je způsobeno vyšším

obsahem chromu, niklu a molybdenu. Korozivzdorné oceli je možné dále dolegovávat různými prvky, používají se například: [10]

- dusík – zvyšuje pevnost a korozní odolnost,
- titan, niob – zvyšují odolnost proti mezikrystalové korozi,
- síra – pro lepší obrobitelnost.

V oblasti použití korozivzdorných ocelí se zvyšují požadavky na jejich vlastnosti a k tomu vedou dvě hlavní cesty. První cestou je vývoj korozivzdorných ocelí na základě nového nebo změněného chemického složení, druhou možností je zavedení progresivních technologií výroby stávajících korozivzdorných ocelí a jejich zpracování.

V posledních letech se velmi často uplatňují nové technologie, které přispívají ke zlepšování vlastností korozivzdorných ocelí. Tyto technologie zahrnují především metalurgické procesy, které zvyšují čistotu a zaručují vyšší kvalitu struktury korozivzdorných ocelí. Různé typy korozivzdorných ocelí mají různé specifické vlastnosti a odlišnou korozní odolnost. [10]

3.1.1 Korozivzdorná ocel 17 349 (DIN 1.4404; X2CrNiMo17-12-2)

Jedná se o chromniklovou austenitickou nestabilizovanou molybdenovou nízkouhlíkovou ocel, která je legována 16,5 - 18,5 % chromu, 10 – 12 % niklu, 2 - 2,5 % molybdenu. Obsahu uhlíku je méně než 0,03 % uhlíku. Je značená dle ČSN 10088-1 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2), staré označení je AISI 316L, ČSN 17 349, AKV Extra 2. [9]

3.1.1.1 Mechanické vlastnosti:

- Pevnost v tahu R_m 520 - 680 N/mm²,
- mez kluzu R_p 0,2 min. 220 N/mm²,
- tažnost A80 mm min. 40 %,
- žíhací teplota 1000 – 1100 °C,
- nemagnetická,

- nekalitelná. [9]

Korozivzdorná ocel 1.4404 má sklon ke zpevňování za studena při tváření, nebo při třískovém obrábění nevhodnými řeznými podmínkami. Tento jev nemá vliv na korozní odolnost. Se stoupající teplotou výrazně klesají hodnoty R_m a R_p .

3.1.1.2 Korozní odolnost

Tato ocel je odolná proti korozi v průmyslovém prostředí. Zvláště pak proti důlkové korozi v přítomnosti chloridů. Je méně odolná vůči kyselině dusičné a jejím výparům. Není náchylná proti mezikrystalické korozi v oblastech tepelného ovlivnění. [9]

3.1.1.3 Technologie zpracování

Ocel je svařitelná bez rizika vzniku mezikrystalické koroze v oblasti tepelného zpracování. Je vhodná k tváření za studena a má dobrou třískovou obrobiteľnost. U této oceli je velmi obtížné při leštění dosáhnout zrcadlového lesku. [9]

3.1.1.4 Použití

Ocel je využívána pro svařované konstrukce v agresivním prostředí průmyslového typu, nebo také v přímořském prostředí. Dále se používá u chemicky upravených prostředí bazénů. Lze ji použít pro styk s potravinami. Použití pro styk s pitnou vodou je omezené hraničním obsahem niklu. [9]

3.2 LMT Fette

Frézovací nástroj typu MultiEdge Double4Feed, německého koncernu LMT Fette, patří mezi ekonomické nástroje pro oblast frézování vysokými posuvy. Námi zvolený typ frézy o průměru $D = 50$ mm s typovým označením HFN S12.050AN-I je uvedena na (obr. 3.1.)



Obr. 3.1 Fréza typu HFN S12.050AN-I – výrobce LMT Fette

Z hlediska vlastní konstrukce je tato fréza řešena jako nástrčná s upínáním do sklíčidla pomocí šroubu. VBD jsou upínány do lůžek frézy šroubky. Povrchová úprava frézy je niklování. Součástí balení jsou dva náhradní šroubky. Celkové zpracování frézy je na vysoké úrovni. Tvar a velikost VBD byla objednána dle katalogového listu výrobce. Pro námi zvolený typ a velikost frézy byla zvolena VBD čtvercového tvaru SNKQ120520SN; LCP40M (obr. 3.2). Tato VBD je primárně určena pro obrábění materiálů skupiny P a dále pro obrábění materiálů skupiny M. VBD mají celkem 8 řezných hran. Jednotlivé břity jsou opatřeny fazetkami na čele a příslušnou velikostí zaoblení řezné hrany. VBD jsou opatřeny PVD povlakem.



Obr. 3.2 Sortiment destiček SNKQ120520SN; LCP40M

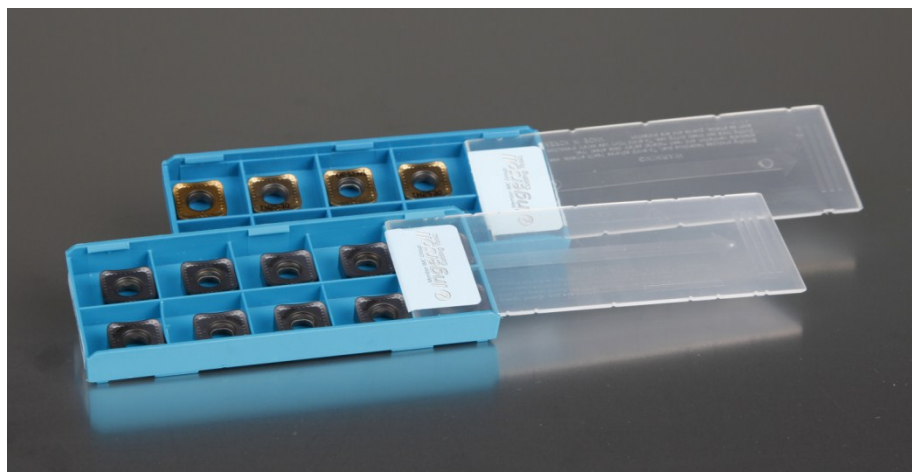
3.3 Ingersoll

Frézovací nástroj typu ISO PLUS, výrobce Ingersoll, člena IMC Group (Iscar), patří rovněž mezi ekonomické nástroje pro oblast frézování vysokými posuvy. Námi zvolený typ frézy o průměru $D = 50$ mm s typovým označením DD6H-20R01 je uvedena na (Obr. 3.3)



Obr. 3.3 Fréza typu DD6H-20R01 – výrobce Ingersoll

Z hlediska vlastní konstrukce je tato fréza opět řešena jako nástrčná s upínáním do sklíčidla pomocí šroubu. VBD jsou upínány do lůžek frézy šroubky. Povrchová úprava frézy je niklováním. V balení frézy jsou přiloženy dva náhradní šroubky. Celkové zpracování frézy je opět na vysoké úrovni. Tvar a velikost VBD byla objednána dle katalogového listu výrobce s přihlédnutím na typ obráběného materiálu. Pro námi zvolený typ a velikost frézy a obráběný materiál byly zvoleny VBD čtvercového tvaru SNGU1205ENN; IN2035 a SNGU1205ENN; IN2530 (obr. 3.4). Oba typy VBD jsou určeny pro obrábění materiálů skupiny M; VBD v materiálu IN2530 doporučuje výrobce primárně pro obrábění materiálů skupiny P. VBD mají celkem 8 řezných hran. Jednotlivé břity jsou opatřeny fazetkami na čele a příslušnou velikostí zaoblení řezné hrany. VBD jsou opatřeny PVD a CVD povlakem.



Obr. 3.4 Sortiment destiček SNGU1205ENN

Druhým frézovacím nástrojem je nástroj typu HI FEEDDEKA od výrobce Ingersoll, člena IMC Group (Iscar), s unikátním ekonomickým řešením pro oblast frézování vysokými posuvy.



Obr. 3.5 Fréza typu DD6H-20R01 – výrobce Ingersoll

Námi zvolený typ frézy o průměru $D = 50$ mm s typovým označením DP5G-20R01 je uvedena na obr. 3.5

Z hlediska konstrukce je tato fréza řešena jako nástrčná s upínáním do sklíčidla pomocí šroubu. VBD jsou upínány do lůžek frézy šroubky. Povrchová úprava frézy je niklováním. V balení opět přiloženy dva náhradní šroubky. Celkové zpracování frézy je opět na vysoké úrovni známé u této značky. Unikátní tvar a velikost VBD byla objednána podle katalogového listu s přihlédnutím na typ obráběného materiálu. Byly zvoleny oboustranné pětiúhelníkové VBD typu PNCQ0804ZNTN; IN2005, které mají 10 řezných hran a jednostranné pětiúhelníkové VBD typu PNCT0804ZNN-HR; IN2005 (obr. X.Y). Oba typy VBD jsou určeny pro obrábění materiálů skupiny M

a P. Jednotlivé břity jsou opatřeny fazetkami na čele a příslušnou velikostí zaoblení řezné hrany. VBD jsou opatřeny PVD povlaky.



Obr. 3.6 Sortiment destiček PNCQ0804 a PNCT0804

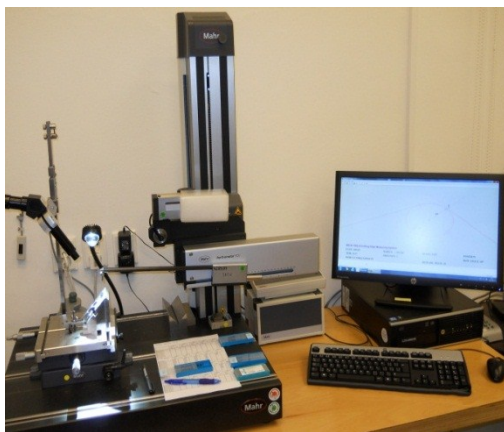
4 Diskuze experimentu

Experimenty, respektive praktické zkoušky obrábění, byly prováděny ve zkušebně obrábění společnosti Pramet Šumperk. Zkoušky byly zaměřeny na utváření třísky v místě řezu a na trvanlivost VBD. Všem zkouškám předcházelo proměření testovacích VBD od firem INGERSOLL a LMT FEETE. Měření VBD bylo zaměřeno na zjištění skutečných rozměrů, především na zaoblení řezných hran a na velikost fazetek.

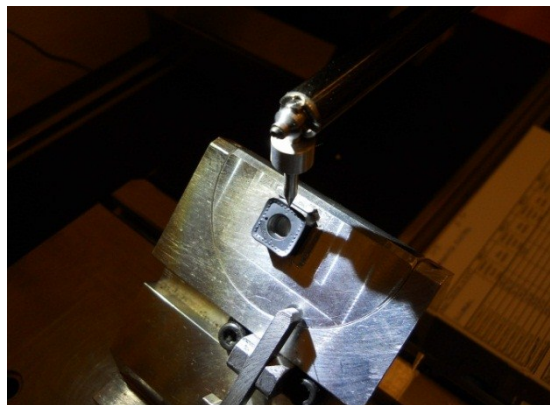
4.1 Funkční zkoušky obrábění

4.1.1 Měření zaoblení řezných hran

Měření bylo provedeno v metrologickém zařízení ve firmě Pramet Šumperk na přístroji Perthometer PCV. Tento přístroj slouží především k měření drsnosti povrchu, a pro měření zaoblení řezných hran.



Obr. 4.1 Perthometer PCV



Obr. 4.2 Vložená VBD v přípravku

4.1.2 Měření velikosti fazetek

Jednotlivá měření šířky fazetek u VBD pro HFC byla prováděna na zkušebně firmy Pramet, konkrétně na dílenském mikroskopu s mikrometrickým šroubem. Uvedený přístroj je univerzální díky bezkontaktnímu měření ve dvou na sebe navzájem kolmých osách ve vodorovné rovině. Všechna data o zaznamenaných rozměrech jsou přenášena digitálně. Jednotlivé výsledky měření jsou uvedeny v příloze A.



Obr. 4.3 Měření fazetek na dílenském mikroskopu

4.1.3 Volba řezných podmínek

Při volbě řezných podmínek se bral ohled na doporučení výrobců, které byli uvedeny v katalogu. K výběru řezných podmínek přispěli také zkušební pracovníci firmy pramet, poté tyto hodnoty sjednotili. Vhodné řezné podmínky jsou znázorněny v následující tabulce 4.1

Název	Hodnota
Hloubka a_p	1 mm
Šířka záběru a_e	50 mm
Řezná rychlost v_c	1160 m · min ⁻¹
Posuv na zub f_z	3820-5093-6366-7639-10186 mm · min ⁻¹
Posuv f	0,75-1-1,25-1,5-2 mm
otáčky n	1019 ot/min

Tab. 4.1 Řezné podmínky

4.1.4 Utváření třísky v místě řezu

Na frézovacím centru typu MCV 1270 Powerod od společnosti Kovošvit MAS probíhali praktické zkoušky na utváření třísky. Technické parametry frézovacího centra, či frézky jsou uvedeny v následující tabulce 4.2

Název	Hodnota
Velikost upínací plochy	1500 x 670 (mm)
Maximální zatížení stolu	1200 (Kg)
Pracovní rozsah osa x-y-z	1270 - 610 - 720 (mm)
Velikost stroje (délka x šířka x výška)	5000 x 3600 x 3330 (mm)
Výkon motoru S1/S6 – 25 % (40 %)	ISO 40 (28/43); ISO 50 (28/43) (kW)
Maximální otáčky vřetena stroje	8000 ot · min ⁻¹
Počet míst v zásobníku stroje	30 ks (ISO 40); 24 ks (ISO 50)

Tab. 4.2 Parametry frézovacího centra



Obr. 4.4 Frézovací centrum typu MCV 1270 Power

Jednotlivé zkoušky byly zaměřeny na sledování třísky v místě řezu. Po upnutí polotovaru z korozivzdorné oceli jakosti 17 349.4 o rozměrech 400 x 300 x 100 mm byl následně polotovar zarovnan frézou pro obvyklé frézování a připraven ke zkušukám. Dalším krokem bylo přeměření a nastavení nástroje pro HFC do upínače.

Následně bylo odebráno pět druhů třísek při jednotlivých posuvech na zub a určitých otáčkách a poté se do upínače upnul další typ frézy. Po vystřídání všech třech fréz a čtyř VBD s PVD povlakem pro HFC (2 geometrie fréz INGERSOLL a 1 geometrie frézy LMT FEETE, 3 VBD pro HFC od firmy INGERSOLL a 1 VBD pro HFC od firmy LMT FEETE) byly všechny druhy odebraných třísek rozříděny do utvářecího diagramu (Příloha B).



Obr. 4.5 Fréza osazená VBD za chodu



Obr. 4.6 Fréza osazená VBD

4.1.5 Zatížení vřetene

Během funkčních zkoušek jsme sledovali také zatížení vřetene u jednotlivých posuvů na zub za určitých otáček. U frézování vysokými posuvy je pro nás tato zkouška velice podstatná, protože u HFC je důležité minimální působení radiálních sil a naopak maximální působení sil axiálních. Snížením radiální složky silového zatížení se minimalizují vibrace a tím se zvyšuje stabilita obrábění. Ztížení vřetene bylo sledováno v procentech.

4.1.6 Měření drsnosti povrchu

Při HFC frézování pro nás není drsnost až tak důležitá, protože rozhodující je ofrézované množství materiálu za jednotku času. V praktických zkouškách jsme se rozhodli drsnost u jednotlivých nástrojů při určitých otáčkách a posuvech na zub změřit, aby vyhodnocení experimentů bylo co nejvíce ekonomické.

Drsnost jednotlivých povrchů byla měřena drsnoměrem Jenoptik Hommel - Etamic W5. Jedná se o velice výkonný přístroj, který navíc díky vhodnému rozložení tlačítek a ergonomickému tvaru umožňuje jednoduchou manipulaci. Technické parametry uvedeného drsnoměru jsou znázorněny v další tabulce

Název	Hodnota
Dráha měřeného úseku	až 18 (mm)
Dráha měřeného úseku dle ISO/JIS	1,5 / 4,8 / 15 mm
Pracovní rozsah osa x-y-z	1270 - 610 – 720 (mm)
Měřicí rozsah snímače drsnoměru	320 um (-210 až + 110)
Rozlišení drsnoměru	0,01 um
Třída přesnosti drsnoměru	1 (±5 %) DIN 4772
Filtry	4 druhy

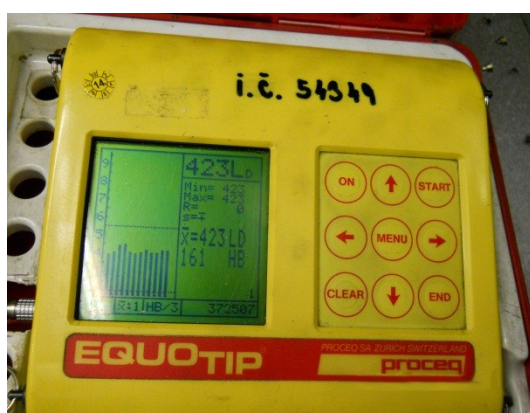
Tab. 4.3 Parametry drsnoměru Jenoptik Hommel - Etamic W5



Obr. 4.7 Drsnoměr Jenoptik Hommel - Etamic W5

4.2 Měření tvrdosti obrobků

Během funkčních zkoušek jsme měřili tvrdost korozivzdorné oceli. Měření bylo provedeno za pomoci přístroje EQUOTIP. Nejprve se vypálený kvádr zarovnal frézou po obvyklé frézování. U korozivzdorné oceli byla naměřena tvrdost 161 HB.



Obr. 4.8 Tvrdoměr EQUOTIP

4.3 Zkoušky obrábění na trvanlivost

Tyto zkoušky probíhaly taktéž na obráběcím centru typu MCV 1270 Power od společnosti Kovosvit MAS, a.s. a byly zaměřeny na trvanlivost jednotlivých VBD na korozivzdorné oceli číslo 1.4404.

Cílem zkoušky obrábění na trvanlivost bylo zjistit opotřebení všech pěti zástupců VBD za stejných řezných podmínek. Zkoušky probíhaly s jednou VBD na frézce, a to až do stavu, kdy byla VBD výrazně opotřebovaná a došlo k patrné změně řezné geometrie.

4.3.1 Volba řezných podmínek pro trvanlivostní zkoušky

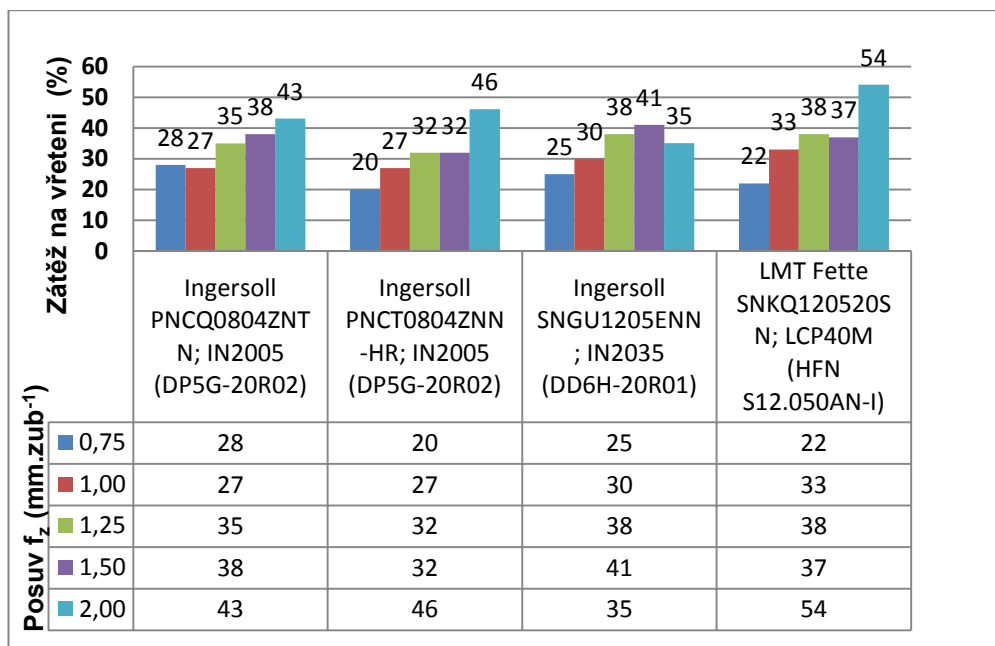
Název	Hodnota
Hloubka a_p	1 mm
Šířka záběru a_e	30 mm
Řezná rychlost v_c	$110 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv na zub f_z	0,75 mm/zub
Posuv f	$525 \text{ mm} \cdot \text{min}$
otáčky n	700 ot/min
Délka záběru l	300 mm

Tab. 4.4 Řezné podmínky pro trvanlivostní zkoušky

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

5.1 Zatížení vřetene

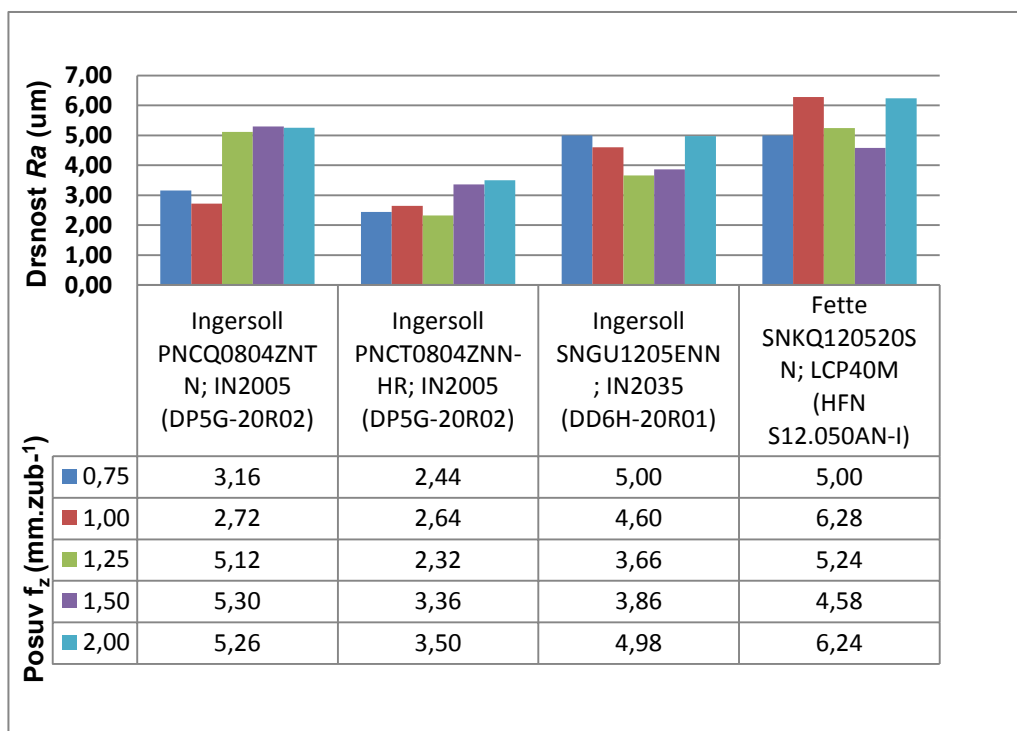
Na níže uvedeném grafu 5.1 jsou znázorněny výsledky zatížení vřetene na posuv na zub do 0,75 až 2 milimetrů. U této zkoušky nejlépe vyhovovala VBD SNGU1205ENN; IN2035 (DD6H-20R01) od firmy Ingersoll, která měla při posuvu 2 mm na zub zatížení vřetene pouhých 35 %. U ostatních posuvů na zub pak byly výsledky podobné.



Graf. 5.1 Zatížení vřetene frézovacího centra MCV 1270

5.2 Měření drsnosti

Naměřená drsnost v tabulce 5.2 je pouze orientační, protože u HFC pro nás bude nejdůležitější množství odebraného materiálu za jednotku času. V rámci experimentálních zkoušek nejlépe vyhovuje VBD PNCT0804ZNN-HR; IN2005 (DP5G-20R02) od firmy Ingersoll.

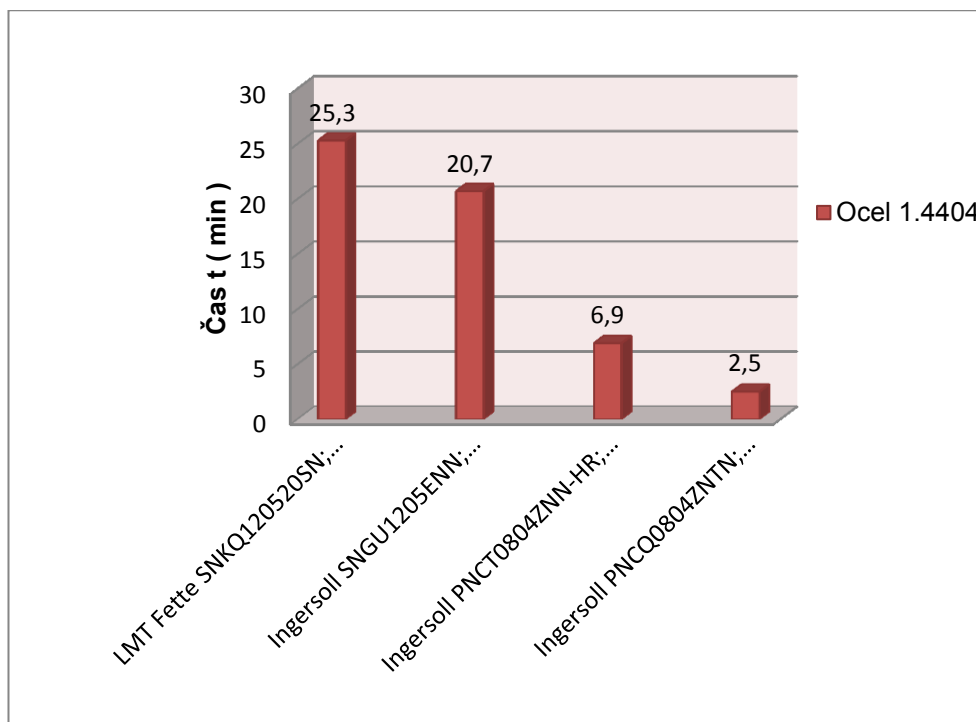


Graf. 5.2 Drsnosti povrchu u testovaných vzorků fréz a VBD

5.3 Zkoušky obrábění na trvanlivost

Graf 5.3 znázorňuje jednotlivé opotřebení vybraných VBD na korozivzdorné oceli 1.4404 za jednotku času. U této zkoušky nejhůře obstála VBD PNCQ0804ZNTN; IN2005 která se uštípla již po 2,5 minutách a ve zkouškách tak nemohla dále pokračovat. Podobně špatných výsledků dosáhla VBD PNCT0804ZNN-HR; IN2005 od výrobce Ingersoll, která byla po 6,9 minutách rovněž značně opotřebovaná.

V trvanlivostních zkouškách si vedla nejlépe VBD SNKQ120520SN; LCP40M od výrobce LMT Fette, u které byly viditelné známky opotřebení až po 25,3 minutách. Podobných výsledků dosáhla i VBD SNGU1205ENN; IN2035 od výrobce Ingersoll; tato VBD byla značně opotřebovaná až po 20,1 minutách.









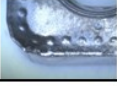







Graf. 5.3 Trvanlivost jednotlivých VBD


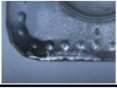
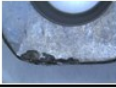





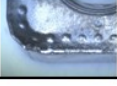





Jednotlivé VBD byly při testování foceny v určitých intervalech dlouhých cca 4,6 minuty. Poté byly tyto fotky zařazeny do následujících dvou přehledných tabulek znázorňujících opotřebení VBD od počátku frézování až do jejich destrukce. V tabulce 5.1 je znázorněno opotřebení čela a v tabulce 5.2 opotřebení hřbetu.



Obr. 5.1 Vyštípnutý břit VBD

Výrobce	LMT FETTE	INGERSOLL	INGERSOLL	INGERSOLL
Typ VBD	SNKQ120520SN LCP40M	SNGU1205ENN IN2035	PNCQ0804ZNTN IN2005	PNCT0804ZNN-HR IN2005
Vzorek	A 3	B3	C3	D3
5 min				
9 min			_____	
14 min			_____	_____
18 min			_____	_____
23 min			_____	_____
28 min		_____	_____	_____

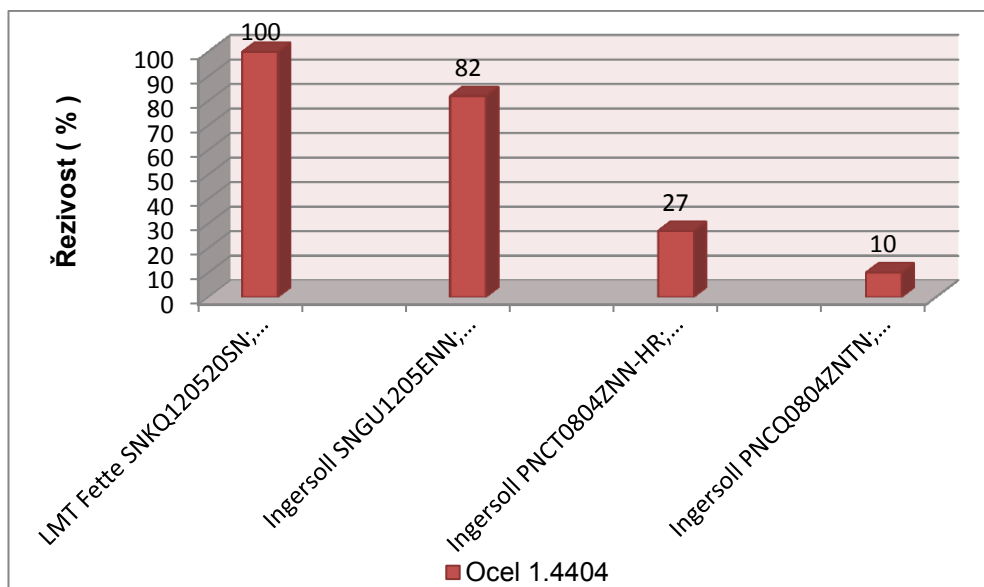
Tab. 5.1 Opotřebení čela VBD

Výrobce	LMT FETTE	INGERSOLL	INGERSOLL	INGERSOLL
Typ VBD	SNKQ120520SN LCP40M	SNGU1205ENN IN2035	PNCQ0804ZNTN IN2005	PNCT0804ZNN-HR IN2005
Vzorek	A 3	B3	C3	D3
5 min				
9 min			_____	
14 min			_____	_____
18 min			_____	_____
23 min			_____	_____
28 min		_____	_____	_____

Tab. 5.2 Opotřebení hřbetu VBD

Řezivost

V této zkoušce dosáhla nejlepší výsledků VBD SNKQ120520SN; LCP40M od výrobce LMT Fette.



Graf. 5.4 Řezivost jednotlivých VBD

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést návrh frézovacích nástrojů pro oblast obrábění vysokými posuvy. Z dosažených výsledků bakalářské práce vyplývají následující závěry:

- Po prostudování nástrojů pro oblast HFC, byly vybrány konkurenční nástroje od firmy LMT Fette a firmy Ingersoll z hlediska počtu řezných hran na jedné VBD.
- Obě výše uvedené firmy nabízejí ekonomické řešení nástrojů pro HFC. LMT Fette nabízí sortiment fréz s oboustrannými čtvercovými destičkami typu SNKQ12. Firma Ingersoll nabízí rovněž sortiment fréz s oboustrannými čtvercovými VBD a dále zcela unikátní produktovou řadu nástrojů s jednostrannými destičkami PNCT08 a oboustrannými pětiúhelníkovými destičkami typu PNCQ08, které jiné konkurenční firmy nenabízejí.
- Byly vytipovány konkrétní průměry nástrojů a příslušných typů VBD a podrobeny měřením. U firmy LMT Fette byla zvolena fréza $d=50\text{mm}$ s pěti zuby, s VBD typu SNKQ120520SN v materiálu LCP40M, u sortimentu fréz firmy Ingersoll

byly vybrány dva zástupci, a to pětizubá fréza typu DD6H-20R01 pro VBD typu SNGU1205ENN v materiálech IN2035 a IN2530 a dále pětizubá fréza na oboustranné pětiúhelníkové VBD, fréza DP5G-20R01 pro VBD typu PNCT0804ZNN-HR v materiálu IN2005 a PNCQ0804ZNTN v materiálu IN2005.

d) Výše uvedené nástroje byly podrobeny zkouškám obrábění na zkušebně obrábění firmy Pramet Šumperk, na frézovacím centru MCV 1270 od firmy Kovosvit MAS.

e) Zkoušky obrábění byly rozděleny na dvě kapitoly. První – funkční zkoušky obrábění, druhá – zkoušky obrábění na trvanlivost na korozivzdorné oceli jakosti 17 349 (DIN 1.4404).

f) Funkční zkoušky obrábění byly zaměřeny na způsob utváření třísky při daném rozsahu posuvů a předem stanovených řezných podmínkách. V rámci těchto zkoušek byly sledovány parametry zatížení vřetene u stroje a analyzována dosahovaná drsnost obrobené plochy na obráběném materiálu. Nejnižších (průměrných) hodnot zatížení vřetene stroje při daných řezných podmínkách vykazoval nástroj Ingersoll PNCT0804ZNN-HR; IN2005 (DP5G-20R02), nejvyšších hodnot nástroj LMT Fette SNKQ120520SN; LCP40M (HFN S12.050AN-I). Z hlediska drsností povrchů dosahoval nejnižších hodnot (které však nejsou rozhodující u technologie obrábění HFC) nástroj Ingersoll PNCT0804ZNN-HR; IN2005 (DP5G-20R02) který má utvařeč třísky, nejvyšších hodnot nástroj LMT Fette SNKQ120520SN; LCP40M (HFN S12.050AN-I).

g) Trvanlivostní zkoušky obrábění byly zaměřeny na zjištění trvanlivosti jednoho břitu u daného typu VBD. Nejvyšších dosahovaných časů trvanlivosti břitu při daných řezných podmínkách dosahovaly VBD firmy LMT Fette SNKQ120520SN; LCP40M (HFN S12.050AN-I) s průměrným časem 25,3 minut. Nejnižších dosahovaných časů trvanlivosti břitu dosahovaly VBD firmy Ingersoll PNCQ0804ZNTN; IN2005 (DP5G-20R02) s průměrným časem 2,5 minut.

h) Z experimentálních zkoušek obrábění a jejich dosažených výsledků bylo ověřeno, že nejlepší ekonomické řešení pro oblast frézování vysokými posuvy na korozivzdorných ocelích nabízí firma LMT Fette s oboustrannými čtvercovými VBD typu SNKQ120520SN. Toto řešení předčilo konkurenční řešení firmy Ingersoll z hlediska řezivosti o +90% na jednu řeznou hranu, přičemž oboustranná pětiúhelníková destička typu PNCQ08 firmy Ingersoll nepřináší pro zákazníka žádnou výhodu.

i) Dosažené výsledky této bakalářské práce budou použity pro návrh budoucího sortimentu fréz pro oblast HFC - ekonomické řešení.

7 Seznam použité literatury

- [1] <http://www.firmy.cz/detail/181840-pramet-tools-sumperk.html>
- [2] BRYCHTA, J., ČEP, R., SADÍLEK, M., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. 1. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, 2001. 178 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [4] High Feed Milling. Dostupné na: http://www.secotools.com/CorpWeb/Products/Milling/Highfeedmilling/gb_hfm_brochure_lr.pdf [vid. 11.11.2013].
- [5] *Sandvik Coromant* [online]. 2013 [vid. 2014-02-21]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/pages/default.aspx.
- [6] <http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-rovinnych-ploch/>
- [7] *Sandvik Coromant* [online]. 2014 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/pages/default.aspx.
- [8] Materiály z firmy Pramet Tools,
- [9] URL<<http://www.inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=11>> [cit. 2014-2-27]
- [10] URL <http://euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf>[cit. 2013-2-12]

8 Seznam obrázků

Obr. 1.1 Pramet Tools s.r.o.....	11
Obr. 1.2 Znázornění jednotlivých ploch	13
Obr. 1.3 Čelní frézování	16
Obr. 1.4 Čelní frézování a) symetrické b) nesymetrické	16
Obr. 1.5 Planetové frézování	17
Obr. 2.1 Naklonění břitových destiček (a, b, c).....	20
Obr. 2.2 Schéma geometrie VBD pro vysoké posuvy	21
Obr. 2.3 Axiální frézování	22
Obr. 3.1 Fréza typu HFN S12.050AN-I – výrobce LMT Fette	25
Obr. 3.2 Sortiment destiček SNKQ120520SN; LCP40M	25
Obr. 3.3 Fréza typu DD6H-20R01 – výrobce Ingersoll	26
Obr. 3.4 Sortiment destiček SNGU1205ENN	27
Obr. 3.5 Fréza typu DD6H-20R01 – výrobce Ingersoll	27
Obr. 3.6 Sortiment destiček PNCQ0804 a PNCT0804	28
Obr. 4.1 Perthometer PCV	29
Obr. 4.2 Vložená VBD v přípravku	29
Obr. 4.3 Měření fazetek na dílenském mikroskopu	29
Obr. 4.4 Frézovací centrum typu MCV 1270 Power	31
Obr. 4.5 Fréza osazená VBD za chodu	31
Obr. 4.6 Fréza osazená VBD	31
Obr. 4.7 Drsnoměr Jenoptik Hommel - Etamic W5.....	33
Obr. 4.8 Tvrdoměr EQUOTIP	33
Obr. 5.1 Vyštípnutý břit VBD	37

9 Seznam tabulek

Tab. 4.1 Řezné podmínky	30
Tab. 4.2 Parametry frézovacího centra	30
Tab. 4.3 Parametry drsnoměru Jenoptik Hommel - Etamic W5.....	32
Tab. 4.4 Te Řezné podmínky pro trvanlivostní zkoušky.....	34
Tab. 5.1 Opotřebení čela VBD	37
Tab. 5.2 Opotřebení hřbetu VBD	37

10 Seznam grafů

Graf 5.1 Zatížení vřetene frézovacího centra MCV 1270.....	34
Graf 5.2 Drsnosti povrchu u testovaných vzorků fréz.....	35
Graf 5.3 Trvanlivost jednotlivých VBD	36
Graf 5.4 Řezivost jednotlivých VBD	38

11 Seznam příloh

Příloha A Tabulka hodnot zaoblení řezných hran a velikostí fazetek
Příloha B Diagramy utváření třísek porovnávaných VBD